

УДК 81-13

DOI: 10.36871/2618-9976.2023.05.001

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЛИНГВИСТИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ НЕЧИСЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СЛОЖНЫХ ОБЪЕКТОВ

Светлана Васильевна Прокопчина¹

¹ Профессор, доктор технических наук, Финансовый университет при Правительстве
Российской Федерации, Москва, Россия, e-mail: svprokopchina@mail.ru

ИНФОРМАЦИЯ

Ключевые слова:

лингвистические измерения
байесовский подход
интеллектуальные системы

АННОТАЦИЯ

Статья посвящена актуальным вопросам использования нечисловой, неструктурированной информации при измерении характеристик и определении состояний сложных систем в условиях значительной информационной неопределенности. В такой ситуации для реализации измерительных и вычислительных процессов должны быть использованы методы и системы, ориентированные на указанную специфику такой информации. Подобная информация носит название лингвистической. Поэтому измерения, реализуемые на ее основе можно назвать лингвистическими. В статье рассмотрены методологические аспекты лингвистических измерений на основе методологии байесовских интеллектуальных технологий. Приведены примеры использования методов и средств лингвистических измерений в социально-экономической сфере региональной экономики.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Прокопчина С.В. Методологические основы лингвистических измерений нечисловых характеристик сложных объектов // Мягкие измерения и вычисления. 2023. № 5. Т. 66. С. 5–21; <https://doi.org/10.36871/2618-9976.2023.05.001>.

METHODOLOGICAL FOUNDATIONS OF LINGUISTIC MEASUREMENTS OF NON-NUMERICAL CHARACTERISTICS OF COMPLEX OBJECTS

Svetlana V. Prokopchina¹

¹ Doctor of Technical Sciences, Professor, Financial University under the Government
of the Russian Federation, Moscow, Russia, e-mail: svprokopchina@mail.ru

ARTICLE INFO

Keywords:

Linguistic measurements
Bayesian approach
Intelligent systems

ABSTRACT

The article is devoted to topical issues of the use of non-numeric, unstructured information in measuring the characteristics and determining the states of complex systems in conditions of significant information uncertainty. In such a situation, methods and systems focused on the specified specifics of such information should be used to implement measurement and computing processes. Such information is called linguistic. Therefore, the measurements implemented on its basis can be called linguistic. The article considers methodological aspects of linguistic measurements based on the methodology of Bayesian intelligent technologies. Examples of the use of methods and means of linguistic measurements in the socio-economic sphere of the regional economy are given.

FOR CITATION: Prokopchina S.V. (2023) Methodological foundations of linguistic measurements of non-numerical characteristics of complex objects. *Soft measurements and computing*, vol. 66, no. 5, pp. 5–21 (In Russ.); <https://doi.org/10.36871/2618-9976.2023.05.001>.

Введение

Важную часть информации, особенно в условиях измерительных ситуаций с неопределенностью, представляют собой сведения в лингвистической форме: естественно-научные знания, наблюдения в форме описаний, аналогии из других предметных областей, лингвистические оценки экспертов, анкетные данные, а также решения, выводы и рекомендации.

Для обработки и принятия решений на основе подобной информации развиты специальные теории: лингвистических переменных [1], теории возможностей [2] и другие. Основой формализации такой информации в данных теориях является аппарат теории нечетких множеств, позволяющий отображать имеющуюся информацию в виде специальных функций – функций принадлежности $\mu(v|x)$, которым придается следующий смысл [4]:

$$\mu(v|x) \in \mu_{B^*}(v|x) \in [0; 1], \quad (1)$$

где $B^* = \{x; \mu(v|x)\}$ – нечеткое множество множества X_v , X_v – базовое множество или базовая шкала значений контролируемого свойства. Носителем B нечеткого множества B^* на такой шкале являются те элементы X_v , для которых значение функции принадлежности отлично от нуля.

Для формализации информации, представленной в лингвистической форме, как отмечалось выше, развита теория лингвистических переменных Лингвистической переменной ставится в соответствие кортеж:

$$v = \langle \eta, \lambda(\eta), \Gamma_\lambda, \Gamma_v \rangle, \quad (2)$$

где η – название лингвистической переменной, $\lambda(\eta)$ – терм-множество вербальных значений переменной, причем каждое из них является нечеткой переменной с областью определения B^λ (или B_η^λ), Γ_λ – синтаксическое правило (грамматика), порождающее нечеткую переменную v вербальных значений лингвистической переменной η , Γ_v – семантическое правило, которое сопоставляет v с $\mu(v|x)$; X_v .

Понятие лингвистических измерений и принципы создания лингвистической шкалы на основе БИИ

Однако, в указанных выше работах не были реализованы принципы измерительного подхода, что не позволяло обеспечить метрологию результатов обработки лингвистической информации и совместить эту обработку с обработкой количественной информации на принципах единства измерений. Для реализации этого было необходимо использовать измерительный подход и разработать принципиальную основу совмещения и сопоставления количественных и лингвистических результатов обработки. Это было сделано в 90-х годах прошлого века на основе регуляризирующего байесовского подхода (РБП) в рамках методологии байесовских интеллектуальных измерений (БИИ).

Методология и технологии БИИ позволяют производить обработку числовой и лингвистической информации отдельно, а также осуществлять совместную обработку.

Существует класс задач, связанный с обработкой только лингвистической информации в виде формализованных и классифицированных знаний, высказываний, оценок, текстов, аудиоинформации. К этому широкому классу информационных задач относятся не только задачи анкетирования, социальных опросов, обработки информации социальных сетей, обработки неструктурированной информации, но и, по сути, все практические управленческие, ситуационные и поведенческие задачи общества. Накопленные и непрерывно получаемые и возрастающие объемы информации, представленные в такой форме многократно превышают объемы информации в количественной форме. Однако, методы обработки такой информации, используемые в настоящее время не позволяют контролировать качество получаемых решений, что значительно затрудняет использование их в информационных технологиях на практике и снижает эффективность как процессов обработки, так и получаемых решений.

Введение процессов метрологического обоснования в технологии обработки лингвистической информации позволяет реализовать принципы измерительного подхода и, тем самым, не только обеспечить контроль и управление качеством получаемых решений, но и оптимизировать сами технологии обработки.

В связи с этим, целесообразно выделить измерительные процессы, связанные с обработкой неколичественной в отдельный вид измерений, который назовем лингвистическими измерениями.

Как известно атрибутами любого вида измерений являются измерительные шкалы, позволяющие реализовать процессы сравнения измеряемых свойств объектов с образцовыми свойствами этих объектов.

Поэтому, далее в этой статье будут рассмотрены методологические основы и технологии создания шкал лингвистических измерений. Такие шкалы позволяют структурировать неструктурированную информацию, тем самым делая ее пригодной для последующей вычислительной обработки.

Теоретической основой создания таких шкал являются теории нечетких множеств, лингвистических переменных и регуляризирующего байесовского подхода (РБП).

В условиях значительной информационной неопределенности такие лингвистические шкалы базируются на основе технологий регуляризирующего байесовского подхода и достаточно давно (начиная с 90-х годов прошлого столетия) используются для решения практических задач. Опыт их использования приведен, в таких работах как [3, 5–10] других.

На базе РБП построены также многомерные лингвистические шкалы, позволяющие производить измерения сложных свойств, представленных лингвистическими переменными. Далее будут приведены примеры таких шкал для практических задач.

В этой статье построение лингвистических шкал рассматривается как базовый этап реализации лингвистических измерений.

Создание подобных шкал связано с некоторыми преобразованиями и интерпретацией основных понятий теорий нечетких множеств и лингвистических переменных.

Из всего многообразия смысловой интерпретации функции $\mu(v|x)$ целесообразно выделить приведенную в [4], которая позволяет рассматривать значения функции принадлежности $\mu(v|(x; v))$ как условную вероятность реализации события $v = \lambda_i$ из терм-множества λ при условии реализации значения $x \in X_v$. Такая интерпретация, не фиксируя объективность характера условной вероятности (это может быть и субъективная вероятность, отражающая мнение специалиста), позволяет привести функцию принадлежности путем нормировки к виду условной плотности распределения вероятности $f(\lambda|X = x)$.

Если в выражении (2) придать входящим в него составляющим следующий смысл: η – переменная, характеризующая состояние или лингвистический результат БИИ; λ_η – терм-множество, описывающее лингвистические градации свойства ОИ;

$X_v = \{h_s\}$ – носитель шкалы БИИ H_K ; Γ_λ – измерительное преобразование (алгоритм БИИ), Γ_v – алгоритм интерпретации априорной лингвистической информации в соответствующее условное распределение $f(\tilde{v}|h_s|x_i)$, причем элемент терм-множества при этом считается как байесовская оценка неслучайным, случайной является реализация (оценка) $\tilde{v}$ при условии недостатка априорной информации и привлечения выборочных данных для получения $h_s^{(\lambda)}$ – решения на лингвистической шкале, то можно применить РБП к синтезу лингвистической шкалы БИИ.

Такой подход позволяет синтезировать специальную, сопряженную с числовой через базовую шкалу, лингвистическую шкалу (типа ШДО), обладающую свойствами количественных шкал БИИ, например, метрическими, а также возможностями самообучения и развития в процессе измерений.

На рисунке 1 представлена сопряженная шкала БИИ с лингвистической формой представления результатов. Ей соответствует базовая шкала результатов БИИ с носителем H_K , упорядоченное терм-множество $\lambda_l = \{\lambda_i\}$ в соответствии с условием.

$$(\forall \lambda_i \in \lambda), (\forall \lambda_j \in \lambda), (i > j) \leftrightarrow (\exists x_i \in B_i), (\exists x_j \in B_j), (x_i > x_j). \quad (3)$$

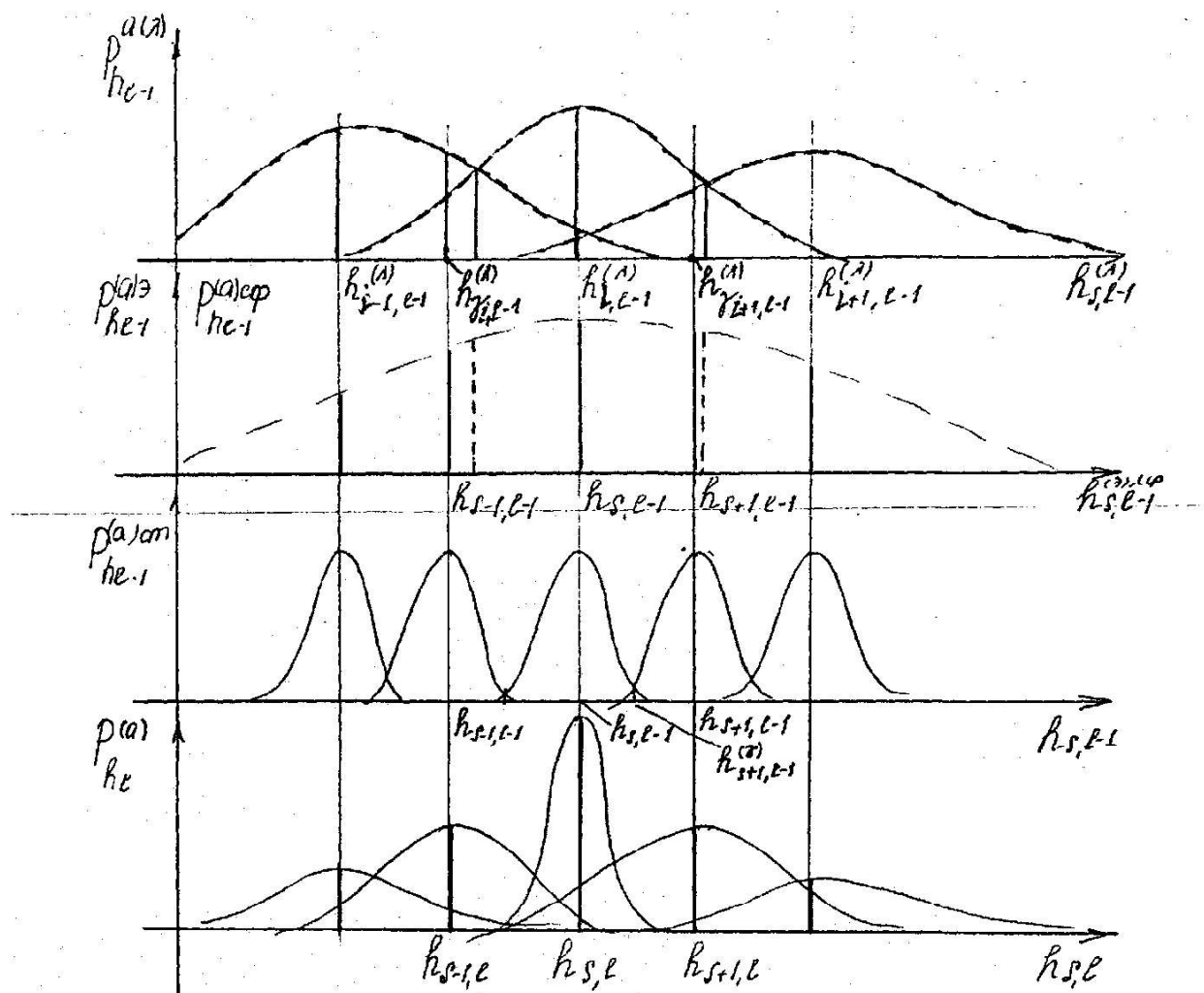


Рис. 1. Иллюстрация синтеза распределения реперов на лингвистической шкале

Плотность субъективной вероятности для элементов терм-множества на базовой шкале H_K формируется аналогично плотности вероятности решений БИИ, определяемой, например, в виде композиции трех основных потоков лингвистической информа-

ции: разнообразной лингвистической субъективной информации $\{\lambda_i^{(c)}\} = \lambda^{(c)}$, сведений и мнений экспертов $\{\lambda_i^{(э)}\} = \lambda^{(э)}$, фундаментальных знаний, приведенных в форме лингвистических переменных $\{\lambda_i^{(т)}\} = \lambda^{(т)}$. При этом плотность субъективной вероятности распределения свойства в лингвистическом виде может быть записана в виде:

$$f(\tilde{v}|\lambda^{(o)}) = f(\tilde{v}^{(c)}|\lambda^{(c)}) * f(\tilde{v}^{(э)}|\lambda^{(э)}) * f(\tilde{h}|H_K|x_i)|Y_i|Y_i^\lambda; \quad (4)$$

$$\lambda^{(o)} = \{\lambda_i^{(c)}\} * \{\lambda_i^{(э)}\} * \{\lambda_i^{(т)}\},$$

где $f(\tilde{v}|\lambda)$ – нормированная функция принадлежности, приведенная к виду условной плотности вероятности.

Реперы $\forall h_i^{(\lambda)} \in H_{K_\lambda}$ такой шкалы представляют элементы терм-множества H_{K_λ} , которое согласно теории [191] их формирования должно удовлетворять следующим условиям:

$$\forall h_i^{(\lambda)} \in H_{K_\lambda}; \sum_{j=1}^{H_{K_\lambda}} \left(f(\tilde{v}|h_i^{(\lambda)}|H_{K_\lambda}|H_K) \right) = 1; \quad (5)$$

$$\rho(h_i^{(\lambda)}; h_{i+1}^{(\lambda)}) = \rho \left[(h_s|h_i^{(\lambda)}); (h_j|h_{i+1}^{(\lambda)}) \right]; \quad (6)$$

$$\forall h_s \in H_K; \rho(h_i^{(\lambda)}; h_{i+1}^{(\lambda)}) \geq \rho(h_s; h_{s+1}); \forall h_i^{(\lambda)} \in H_{K_\lambda}; \quad (7)$$

$$\forall (h_j^{(\lambda)} < h_{i_2}^{(\lambda)} | h_{s+1} \wedge h_j^{(\lambda)} > h_{i_1}^{(\lambda)} | h_s); \quad (8)$$

$$h_j^{(\lambda)} = h_{i_1}^{(\lambda)} | h_s | (h_j^{(\lambda)} \leq h_{j_2}^{(\lambda)} | h_{s+1}); h_j^{(\lambda)} = h_{i_2}^{(\lambda)} | h_{s+1} | (h_j^{(\lambda)} > h_{j_2}^{(\lambda)}),$$

где $\rho(h_i^{(\lambda)}; h_{i+1}^{(\lambda)})$ – расстояние между соседними реперами лингвистической шкалы.

Тогда возможность построения лингвистической динамической шкалы определяется возможностью непрерывного расширения списка элементов терм-множества λ , что может быть записано в виде условия:

$$\rho(h_i^{(\lambda)}; h_{i+1}^{(\lambda)}) \leq \beta_{\text{доп.}}^\lambda [\rho_{\text{доп.}}(\xi_{\text{доп.}})], \quad (9)$$

где $\rho_{\text{доп.}}(\xi_{\text{доп.}})$ – минимально допустимое расстояние между соседними реперами лингвистической шкалы, позволяющее различать соседние реперы с требуемой точностью $\xi_{\text{доп.}}$.

Метрологическое обоснование шкал лингвистических измерений

Метрологические свойства результатов на лингвистической шкале определяются в соответствии с метрологическими свойствами базовой шкалы БИИ [3, 5, 7]. Так, точность определения результата на лингвистической шкале $\xi_{\text{доп.}}$ можно определить, исходя из расстояния между соседними элементами терм-множества H_{K_λ} , представляю-

щего собой носитель шкалы. Это расстояние может быть вычислено с использованием принятой для базовой шкалы метрики в виде:

$$\rho(\lambda_i; \lambda_{i+1}) = \rho(h_i^{(\lambda)}; h_{i+1}^{(\lambda)}), \quad (10)$$

Точность же определения результатов на лингвистической шкале может быть определена по максимальному расстоянию между элементами $h_i^{(\lambda)}, h_{i+1}^{(\lambda)}; \forall (h_i^{(\lambda)}; h_{i+1}^{(\lambda)}) \in H_{K\lambda}$.

Используя методологию РБП, можно синтезировать алгоритм принятия решений БИИ на лингвистической шкале в соответствии уравнением лингвистических измерений:

$$\{h_i^{(\lambda)} | \lambda^{(o)}\} = \{argmin r_{\lambda_i} [h_i^{(\lambda)}; \lambda^{(o)} | (h_s; x_i; Y_i; Y_i^{(\lambda)})]\}, \quad (11)$$

Аналогично теореме возможности реализации алгоритма БИИ [3, 7, 5], при заданных метрологических требованиях, можно записать условие, при котором для данного терм-множества и метрологических $(M_i^{(\lambda)})$ требований возможен синтез лингвистической шкалы:

$$\forall \lambda_i \in \lambda; \exists \rho: \rho(\lambda_i; \lambda_{i+1}) \leq \rho_{\text{доп.}}^{(\lambda)} [\rho_{\text{доп.}}^{(\lambda)}(\xi_{\text{доп.}}); M_i^{(\lambda)}], \quad (12)$$

В [5] сформулирована теорема о необходимых и достаточных условиях для построения лингвистической шкалы с заданными метрологическими характеристиками.

Синтез алгоритма измерений на лингвистической шкале возможен, если существует возможность построения разделяющих границ между элементами терм-множества в соответствии с правилом (12), причем для каждой пары упорядоченного терм-множества только одной, что может быть записано в виде условия:

$$\begin{aligned} \exists H_{\gamma_K}^{(\lambda)} = \{h_{\gamma_K}^{(\lambda)}\} | (\exists H_K^{(\gamma)} = \{h_{\gamma_K}^{(\gamma)}\}); h_{\gamma_K}^{(\lambda)}: h_K^{(\lambda)} \leq h_{\gamma_K}^{(\lambda)} < h_K^{(\lambda)} \wedge \\ r_K^{(\lambda)} (h_K^{(\lambda)} | (h_{\gamma_K}^{(\lambda)}; \lambda^{(o)}; H_K^{(\gamma)}; y_i; y_i^{(\lambda)})) \cong r_{K+1}^{(\lambda)} (h_{K+1}^{(\lambda)} | h_{\gamma_K}^{(\lambda)}; \lambda^{(o)}; H_K^{(\gamma)}; y_i; y_i^{(\lambda)}). \end{aligned} \quad (13)$$

Доказательством этой теоремы служит требование соблюдения условия (7) и основных принципов корректной постановки задачи, т. е. условий Адамара, (существования, единственности и устойчивости решений $\{h_K^{(\lambda)}\} \subset \{H_K^{(\lambda)}\}$ при синтезе алгоритмов БИИ для информации, представленной в лингвистической форме. Оно полностью приводится в [3, 5].

Соблюдение принципа размерности обуславливает применение сопряженной шкалы БИИ в ее универсальной форме, приведенной в [3, 5–10]. В результате БИИ при $H_K^{(\lambda)}$ на лингвистической шкале могут быть получены решения $h_K^{(\lambda)}$ в виде нечетких лингвистических множеств вида:

$$\begin{aligned} \{h_K^{(\lambda)} | \{MX\}_K^{(\lambda)}\} = \{\lambda_K | P_K^{(\lambda)} | h_s | Y_i | Y_i^{(\lambda)}\} \subset \lambda; \\ k = k_0; k_K; P_K^{(\lambda)} \neq 0; P_s \neq 0; S = \overline{1, I_2}; \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{cases} \lambda_{k_0} = \lambda_k | \left(P_{k_0}^\lambda = \min_{h_k^{(\lambda)}} P_k^{(\lambda)} \right); \\ \lambda_{k_K} = \lambda_K | \left(P_{k_K}^\lambda = \max_{h_k^{(\lambda)}} P_k^{(\lambda)} \right). \end{cases} \quad (15)$$

На основе методологии лингвистических измерений можно преобразовать формулу Байеса в следующем виде. При этом создается возможность применения байесовской свертки для лингвистических переменных, что на основе лингвистических шкал с динамическими ограничениями позволяет использовать байесовский вывод для нечисленной и неструктурированной информации.

$$P_k^{(\lambda)} = \sum_{s=1}^{I_z} \frac{P_k^{(\lambda a)} \cdot f(\lambda^{(o)} | \lambda_k | h_s | x_i | y_i; y_i^{(\lambda)})}{\sum_{j=K_0}^{K_K} P_j^{(\lambda a)} \cdot f(\lambda^{(o)} | \lambda_i | h_s | x_i | y_i; y_i^{(\lambda)})} \cdot P_s. \quad (16)$$

Комплексы метрологических характеристик $\{MX\}_i^{(\lambda)}$, включающие показатели точности $\xi_i^{(\lambda)}$, надежности $V_i^{(\lambda)}$, уровней ошибок 1 $\alpha_i^{(\lambda)}$ и 2 $\beta_i^{(\lambda)}$ рода, достоверности $P_{\alpha_i}^{(\lambda)}$ могут быть определены для каждого элемента нечетких результатов лингвистических измерений и в целом для (14) в виде:

$$\{MX\}_i^{(\lambda)} = \{\xi_i^{(\lambda)}; V_i^{(\lambda)}; P_i^{(\lambda)}\} | \{MX\}_s; \quad (17)$$

$$V_i^{(\lambda)} = P_{\alpha_i}^{(\lambda)} \cdot \mathcal{D}_i^{(\lambda)}; \quad (18)$$

$$P_{\alpha_i}^{(\lambda)} = \int_{h_{\gamma_i}^{(\lambda)}}^{h_{\gamma_{i+1}}^{(\lambda)}} f(\tilde{h}_i^{(\lambda)} | H_{K_\lambda} | h_i^{(\lambda)}) dh^{(\lambda)}; \quad (19)$$

$$\alpha_i^{(\lambda)} = 1 - P_i^{(\lambda)}; \mathcal{D}_i^{(\lambda)} = 1 - \beta_i^{(\lambda)}; \quad (20)$$

$$\beta_i^{(\lambda)} = \max_j \int_{h_{\gamma_i}^{(\lambda)}}^{h_{\gamma_{i+1}}^{(\lambda)}} f(\tilde{h}_j^{(\lambda)} | H_{K_\lambda} | h_j^{(\lambda)}) dh^{(\lambda)}. \quad (21)$$

Апостериорная вероятность появления решений $\lambda_i \sim h_i^{(\lambda)}$ на лингвистической шкале БИИ определяется в соответствии с теоремой Байеса в виде (16).

Применение лингвистической шкалы дает возможность получать результаты в виде выводов, лингвистических оценок состояния объекта измерения (ОИ) и рекомендаций по оптимальному управлению ОИ в измерительных задачах второго и третьего типов (измерительный контроль и измерительное управление), а также сопровождать их комплексами метрологических показателей, характеризующих их точность, надежность и достоверность.

Кроме того, важность привлечения такого типа шкал для получения решений на сопряженной шкале с числовой шкалой, как показано в [3, 5–10], обуславливается

также и возможностью перехода от одной формы представления результата к другой, получения результата БИИ в числовой форме на одной из них и трансформации его в виде лингвистического решения на другую, что дает возможность использовать все формы представления информации для получения измерительных решений:

$$h_s^{(0)} \left| \{MX\}_s^{(0)} = [h_s | \{MX\}_s] * \left[h_i^{(\lambda)} | \{MX\}_i^{(\lambda)} \right] \right| (y_i; y_i^{(\lambda)}). \quad (22)$$

Уникальной возможностью лингвистических измерений является возможность получения измерительных решений в виде нечетких функций регрессии в лингвистической форме, в том числе и нечетких множественных лингвистических регрессий. Примеры таких функций приведены далее в статье.

Методика лингвистических измерений нечисловых характеристик на основе лингвистических шкал

Согласно вышеприведенным основам построения лингвистической шкалы методика организации лингвистических измерений (ЛИ) нечисловых характеристик может быть построена в виде следующих этапов.

Этап I. Определение модели объекта измерения. При этом формируется иерархическая структура измеряемых свойств объекта и среды его функционирования, отражающей их взаимосвязи и измеряемые признаки. Выделяется группа отношений в системе модели ОИ, определяющая множество допустимых измерительных преобразований. Минимальная группа отношений соответствует совокупности отношений лингвистической шкалы, которая принадлежит типу порядковых шкал. В процессе создания модели ОИ формируется круг ограничений и требований.

Этап II. Обобщение и систематизация априорной информации. Этап состоит в сборе и классификации по виду представления априорной информации об ОИ и среде его функционирования.

Этап III. Определение метрологических требований к результатам и метрологическое обоснование априорной информации. Метрологические требования определяются, как правило, целью задачи, возможными приложениями результатов измерений и качеством исходной информации, являясь внешними по отношению к синтезируемому алгоритму условиями или ограничениями измерительного эксперимента. Для алгоритмов ЛИ они включают в себя требования по точности, надежности и достоверности результатов ЛИ.

Этап IV. Синтез шкалы ЛИ.

Этот этап состоит из ряда подэтапов, отражающих последовательность построения шкалы ЛИ типа шкалы с динамическими ограничениями (ШДО).

1. Выделение в пространства решений H_O компакта H_K , в соответствии с видом ОИ, целью задачи и имеющимися ограничениями.

Проверка возможности синтеза лингвистической ШДО для пространства решений по условиям (21).

2. Регуляризация пространства решений путем его дискретизации в соответствии с требуемой точностью $\xi_{\text{доп}}$ результатов ЛИ и представления пространства решений в виде носителя шкалы ЛИ. Совокупность элементов носителя шкалы ЛИ должна отвечать условиям упорядоченности элементов и (21).

3. Формирование иерархической шкалы БИИ, как композиции сформированных шкал простых свойств в соответствии, если признаки свойств или простые свойства взаимозависимы. Если же они являются независимыми, то строится векторная шкала, представляющая собой совокупность шкал простых свойств.

4. Определяется комплекс метрологических характеристик для каждой шкалы ЛИ, включая и КМХ для иерархической многомерной лингвистической шкалы ЛИ.

5. Определяется комплекс метрологических характеристик иерархической шкалы ЛИ согласно правилам функциональных преобразований КМХ, приведенным в [7–10].

Этап VI. Проверка условия возможности синтеза алгоритма ЛИ с заданными метрологическими характеристиками на синтезированных шкалах ЛИ.

Этап VII. Построение разделяющих границ для принятия решений на основе РБП.

Разделяющие границы определяются исходя из обеспечения минимума среднего риска решения ЛИ.

Построение разделяющих границ производится отдельно для базовой и сопряженной лингвистической шкалы ЛИ.

Этап IX. Определение оптимальной стратегии ЛИ для обеспечения требуемого качества результатов ЛИ.

Применение методологии создания лингвистических шкал БИИ для мониторинга и управления распределенными техническими системами (на примере сетей горячего водоснабжения)

В качестве примеров применения лингвистических шкал можно привести задачи измерения состояния сложных технических систем по лингвистической информации, например, по информации производственных документов и журналов контроля производственных процессов.

Следует отметить, что на основе методологии БИТ разработана компьютерная платформа «Инфоаналитик», средствами которой создан ряд прикладных информационных систем, в том числе и для реализации лингвистических измерений.

Пример одной из прикладных систем, получившей название «Инфоинтегратор» [9], для оценки состояния сети горячего водоснабжения (ГВС) приведен на рисунке 2, который иллюстрирует дерево факторов, построенное по концептуальной модели сети.

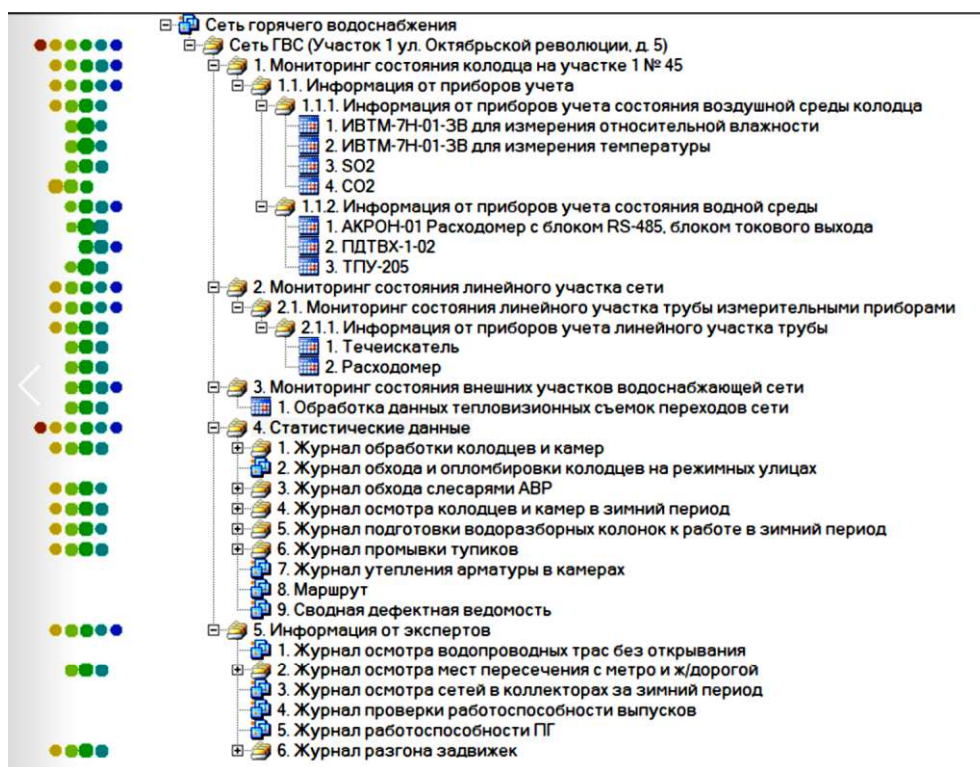


Рис. 2. Концептуальная модель в виде дерева факторов для сети ГВС

В качестве источников информации используются указанные на рисунке журналы обхода и контроля сети, заполняемые в лингвистической форме специалистами эксплуатационной группы.

Также используются лингвистические оценки экспертов и информация, поступающая от населения и диспетчеров сети. Для интеграции этой информации с измерительной информацией, поступающей от приборов, используются технологии лингвистических измерений на основе РБП. Для быстрой интерпретации измерительных решений применяются методы когнитивной графики, что показано на нижеследующих рисунках.

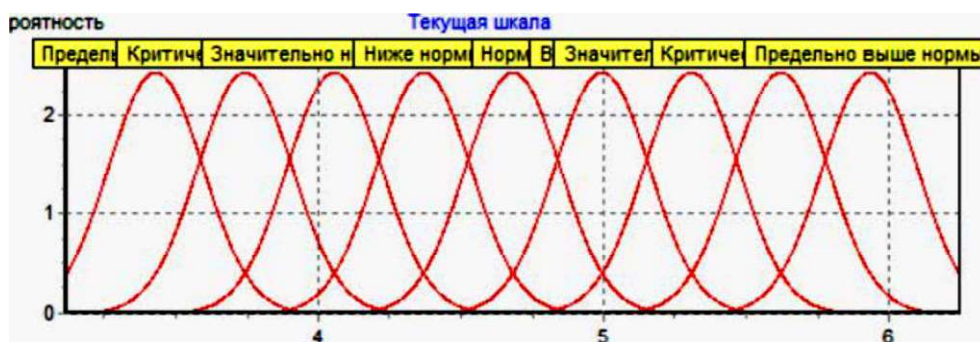


Рис. 3. Пример лингвистической шкалы с нормированием

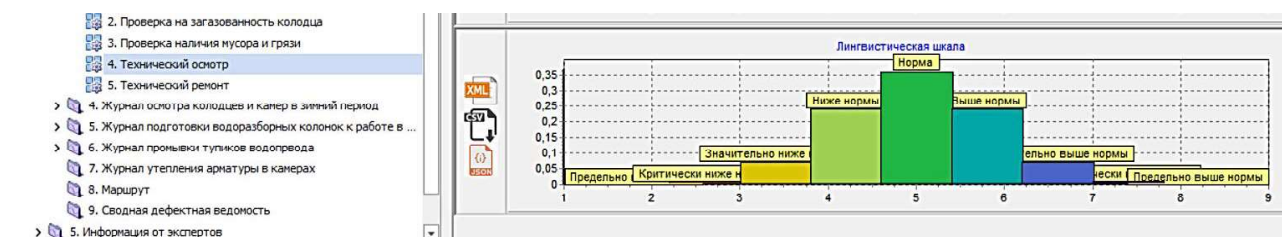


Рис. 4. Пример использования лингвистической шкалы при вводе лингвистической информации из журналов специалистов

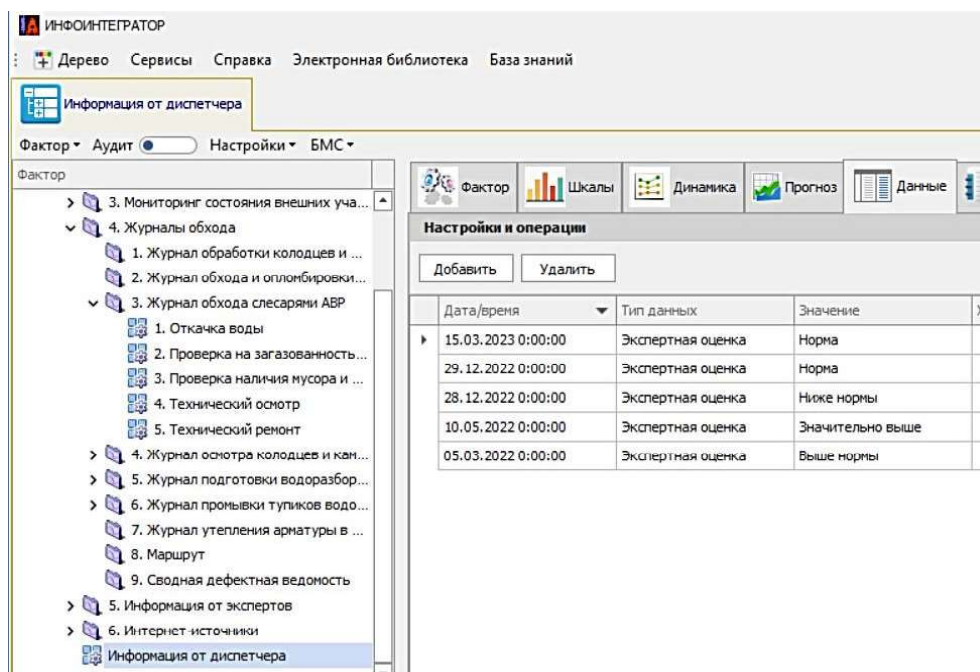


Рис. 5. Пример этапа ввода лингвистической экспертной информации

Свертка лингвистических решений производится по модифицированной формуле Байеса для БИТ. Иллюстрация сверки лингвистических измерений приведена на [рисунке 6](#).

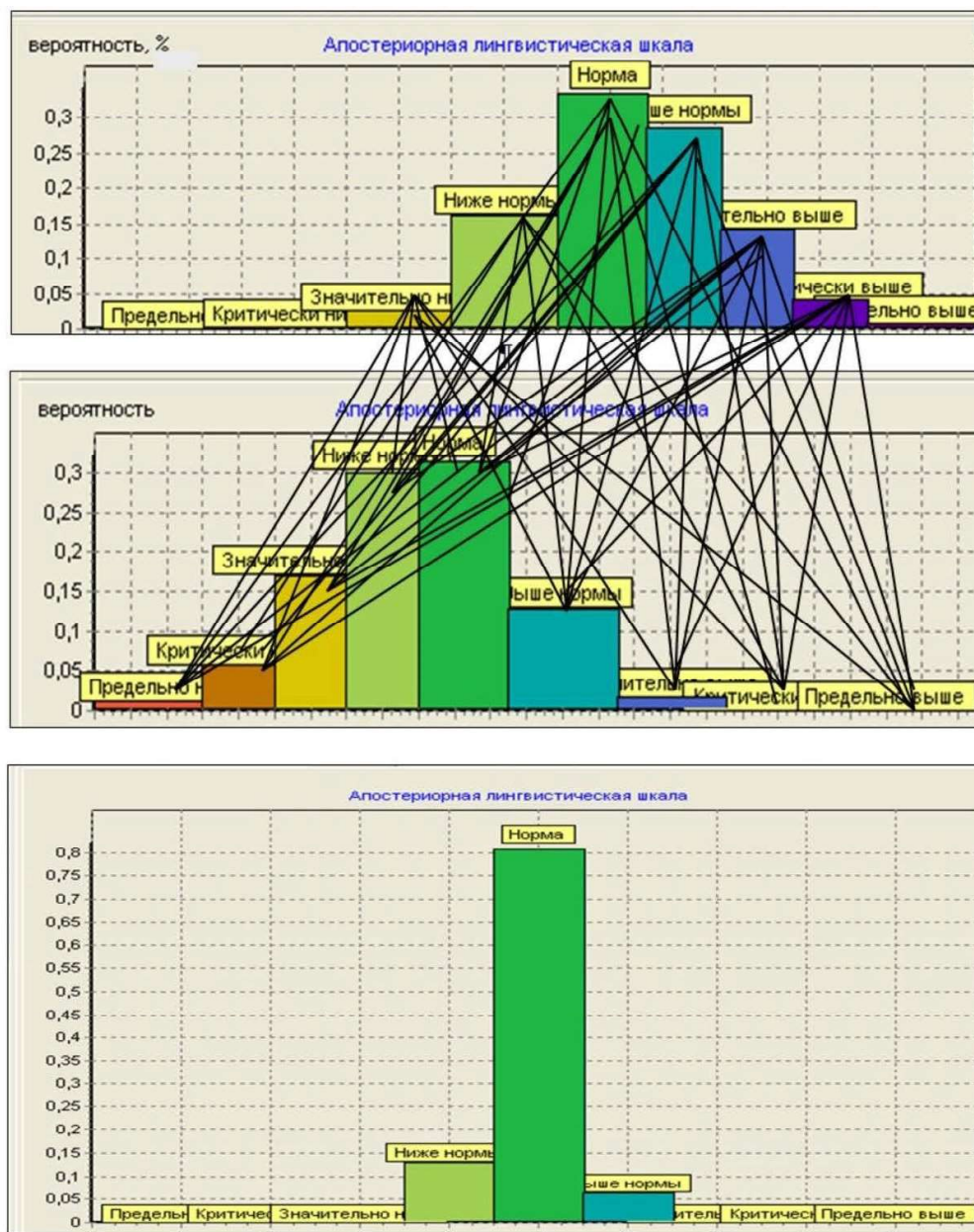


Рис. 6. Иллюстрация сверки лингвистических измерений

Информационную концептуальную модель подсистемы измерений параметров ГВС $G^{(01)}$ можно записать в виде совокупности следующих факторов:

1. $G^{(011)}$ – совокупность основных параметров состояния трубы линейного участка сети.
2. $G^{(012)}$ – совокупность основных параметров и факторов состояния колодца данного линейного участка сети.
3. $G^{(013)}$ – совокупность потоков измерительных данных от приборов линейного участка сети.
4. $G^{(014)}$ – совокупность дополнительных источников информации о состоянии линейного участка сети и блоков, обеспечивающих его бесперебойное функционирование, (например, журналов, заполняемых обслуживаемым персоналом).

На основании этого списка можно сформировать информационную модель линейного участка сети в виде:

$$G^{(01)} = G^{(011)} * G^{(012)} * G^{(013)} * G^{(014)} * G^{(015)}. \quad (23)$$

Основными источниками информации программного комплекса являются:

1. Измерительные приборы.
2. Журналы обхода сетей.
3. Журналы диспетчеров сетей.
4. Экспертные оценки специалистов.
5. Информация от внешних источников (баз данных и знаний, информации из других информационных источников, передаваемой по различным каналам связи в различных форматах).

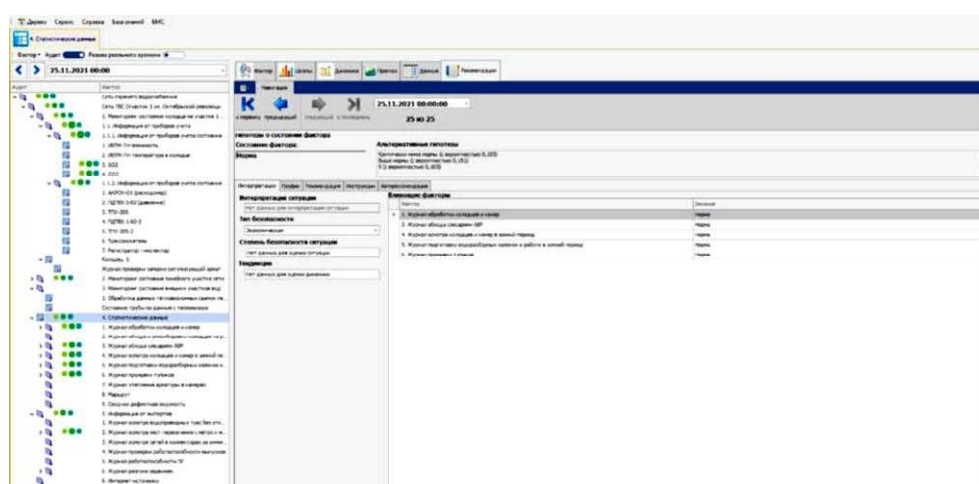


Рис. 7. Интеграция информации производственных журналов на основе лингвистических измерений

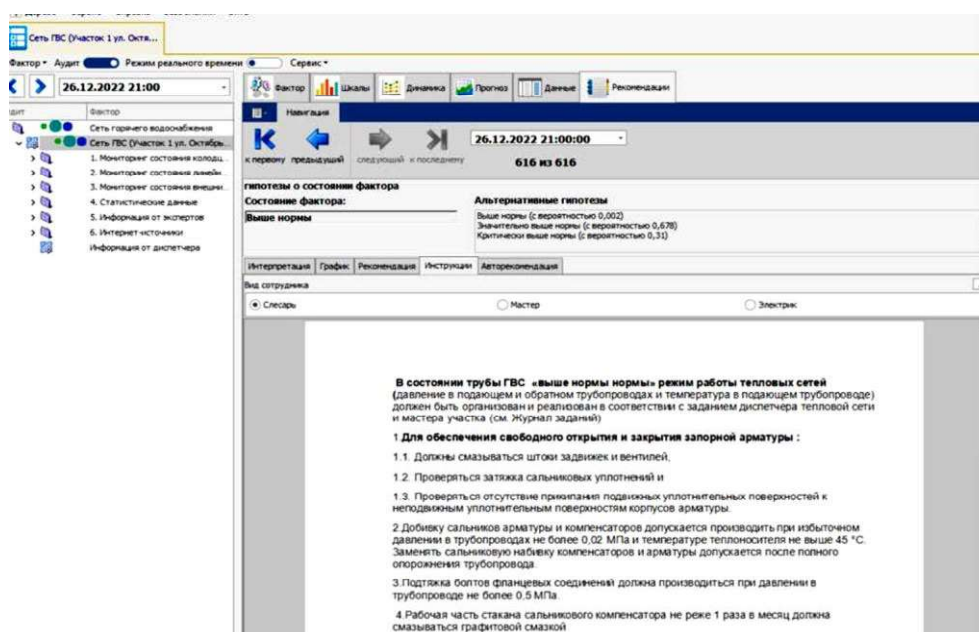


Рис. 8. Генерация рекомендаций по эксплуатации ГВС как пример лингвистического измерительного решения

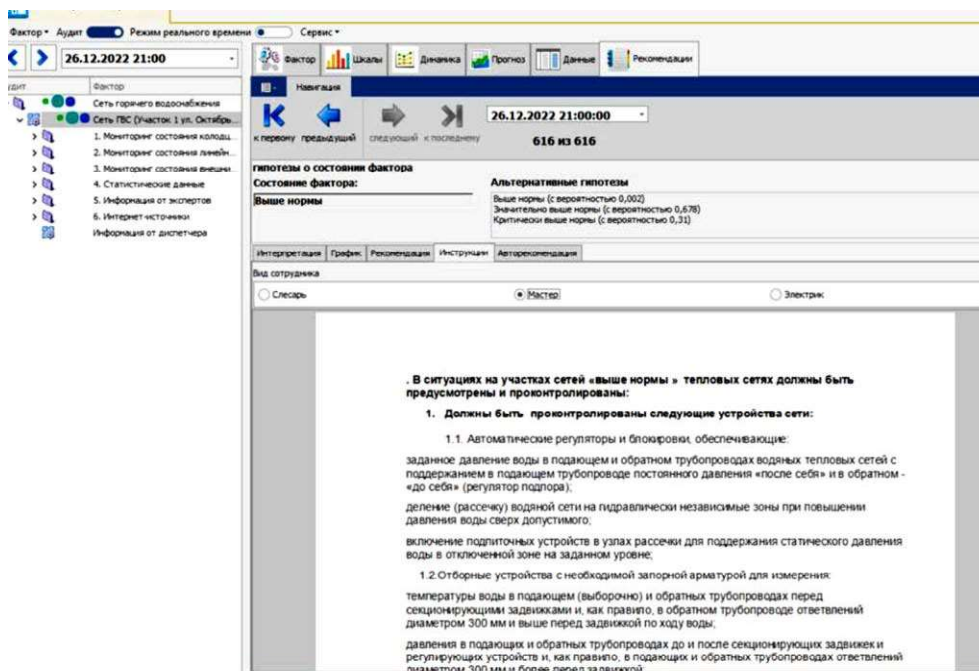


Рис. 8. Генерация рекомендаций по эксплуатации ГВС как пример лингвистического измерительного решения (продолжение)

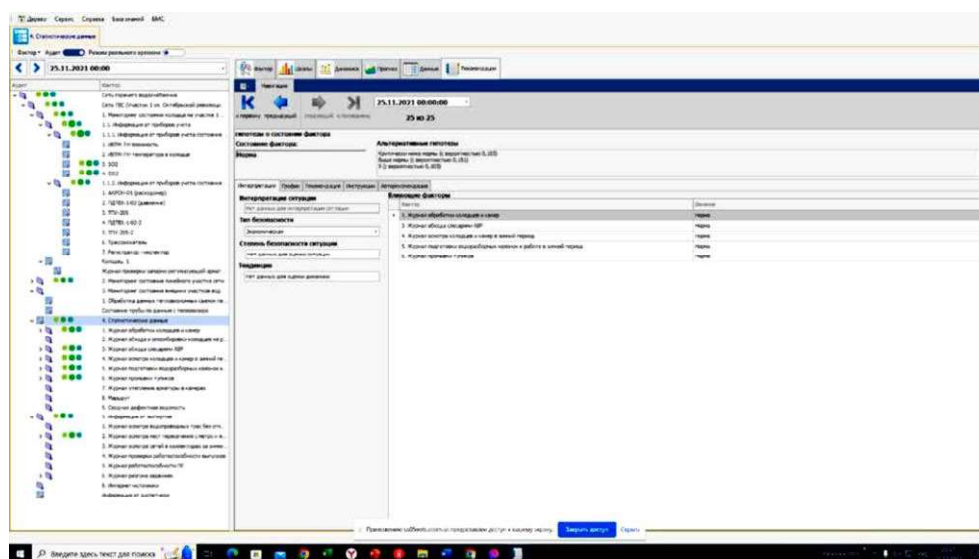


Рис. 9. Лингвистические измерения влияющих факторов

Уместно отметить, что основные эксплуатационные характеристики ГВС также имеют лингвистическую форму. Они представляют собой в информационном аспекте сложные системы, включающие многочисленные показатели. В основном также представленные нечисловой информацией. К таким характеристика относятся:

- 1) Эксплуатационная надежность.
- 2) Прочность трубопроводных конструкций
- 3) Безаварийность.
- 4) Ремонтопригодность.
- 5) Прослеживаемость функционирования.
- 6) Устойчивость к коррозии.
- 7) Другие характеристики сети ГВС.

С информационных позиций эти характеристики не являются измеримыми напрямую и являются сложными системами, включающими совокупность измеримых показателей, которые входят в модель ГВС на основе БИТ. Использование РБП и БИТ в программном комплексе в качестве основы для интеграции и интеллектуальной обработки информации позволяет обрабатывать не только количественные, числовые, но и качественные, лингвистические показатели, что в условиях неопределенности позволяет значительно повысить точность, надежность и достоверность получаемых решений.

Лингвистические измерения характеристик социальных систем

Другими примерами являются задачи измерения социальных показателей, в которых источниками информации являются экспертные и анкетные данные в лингвистической форме.

Такая информация характеризуется неточностью, неполнотой, нечеткостью, что в целом формирует условия информационной неопределенности при получении целевых решений.

$$G^{(O1)} = G^{(O11)} * G^{(O12)} * G^{(O13)} * G^{(O14)} * G^{(O15)}.$$

Информационную концептуальную модель ценностей МС $G^{(O1)}$ можно записать в виде совокупности следующих факторов: $G^{(O11)}$ – система молодежных сообществ регионов РФ; $G^{(O12)}$ – совокупность свойств МС; $G^{(O13)}$ – совокупность ценностей МС; $G^{(O14)}$ – совокупность групп МС; $G^{(O15)}$ – система региональной специфики.

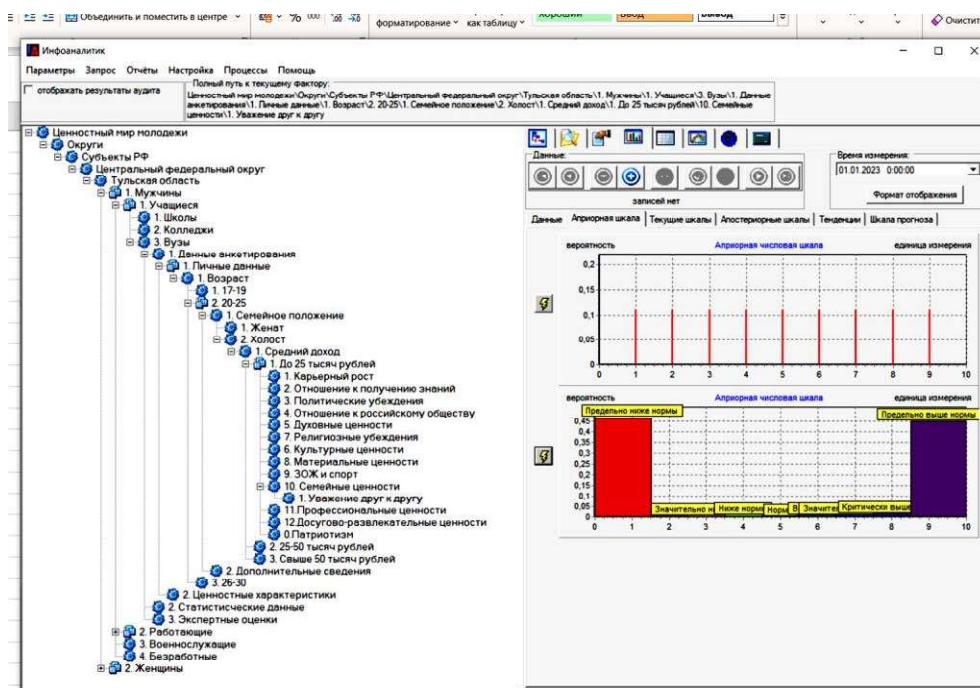


Рис. 10. Концептуальная модель и лингвистическая шкала для оценки ценностного мира молодежи на основе анкетных данных

Среди факторов, вошедших в данную модель присутствуют такие, как позитивные аспекты в современном состоянии российского общества; негативные аспекты состояния российского общества, отношение к профессиональным, культурным, матери-

альным ценностям; факторы, обусловившие кризисы в духовной сфере общества, личностные устремления, факторы отношения к семейным ценностям, отношения к досугово-развлекательным ценностям, мотивы получения высшего образования, отношение к основным факторам жизненного успеха в современном обществе и многие другие. Эта совокупность факторов для модели была предложена коллективом ученых под руководством профессора Бормотова И.В.

Для измерения и получения оценок таких факторов очень эффективной оказалась методология лингвистических измерений.

Внешним окружением молодежной группы населения будет региональная экосистема.

Она включает как природные факторы территории, так и экономико-социальную сферу и социогуманитарные потенциалы населения, ее специфика во многом определяет условия и ситуации, в которых молодежь действует и развивается, и существенно влияет на формирование ценностей молодежной группы. Поэтому, учет этой составляющей в модели ценностей молодежной группы необходим и обязателен.

Нижеследующий рисунок иллюстрирует комплексную оценку региональной специфики Тульской области.

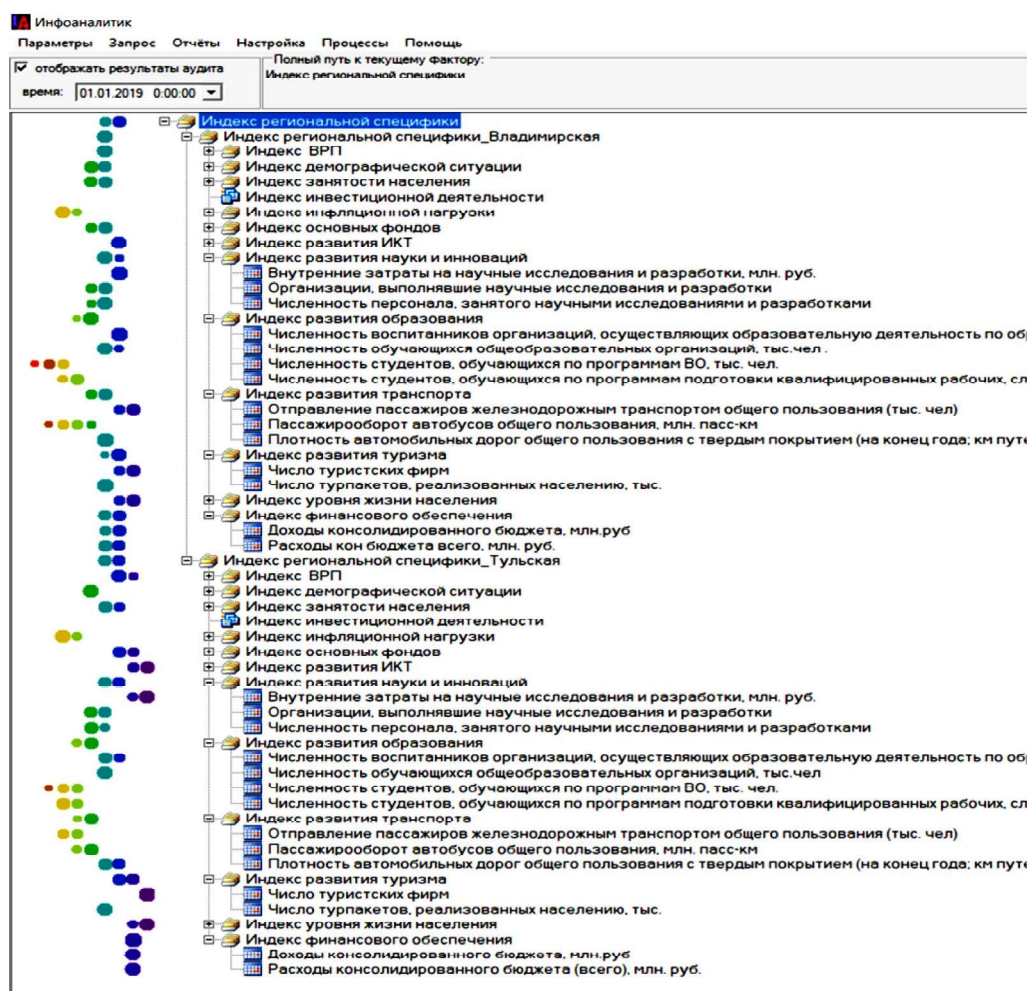


Рис. 11. Комплексная оценка региональной специфики Тульской области

Интерпретируя рисунок 11, можно отметить, что в Тульской области хорошо развиты и имеют высокие потенциалы научные учреждения, учебные заведения, промышленные производства, объекты культуры и спорта. Среди населения значитель-

ную часть составляет учащаяся молодежь. Поэтому, можно оценить региональную специфику Тульской области как вполне благоприятную для развития молодежи.

Заключение

Методы и технологии лингвистических измерений являются весьма полезными при наличии неколичественной информации, представленной в разнообразных формах различных типов знаний. Эти технологии могут быть использованы как отдельный класс технологий, а также совместно с другими технологиями.

Практика применения интеллектуальных систем, построенных на их основе подтверждает их эффективность при решении различных прикладных задач в условиях значительной информационной неопределенности

Однако, необходимо отметить, что полученные выводы являются условными при наличии данной неполной информации и ограничений на ее состав.

В моделях таких измерительных технологий, как правило, учитываются известные. информационно–обеспеченные факторы, а также известные неучтенные информационно–необеспеченные факторы

Естественно, что и при этих условиях модель является квазиадекватной, так имеется еще значительное число неучтенных неизвестных влияющих факторов, не вошедших в данную версию модели.

Однако, радует тот факт, что данная модель принадлежит к типу моделей с динамическими ограничениями [3, 5–10], что позволяет ей развиваться при получении новой информации об имеющихся и неучтенных факторах сложных систем.

Список литературы

- [1] *Заде Л.* Понятие лингвистической переменной и его применения к принятию приближенных решений. М.: Мир, 1976.– 163с.
- [2] *Дюбуа Д., Прад А.* Теория возможностей. Приложение к представлению знаний в информатике. М.: Радио и связь, 1990. 288 с.
- [3] *Prokopchina S.V.* Bayesian intellectual measurements. М.: Ed. House «SCIENTIFIC LIBRARY», 2021. 495 p.
- [4] *Нильсон Н.* Искусственный интеллект. Методы поиска решений. М.: Мир, 1973. 272 с.
- [5] *Прокопчина С.В.* Концепция байесовской интеллектуализации измерений в задачах мониторинга сложных объектов // *Новости искусственного интеллекта.* 1997. № 3. С. 7–56.
- [6] *Прокопчина С.В.* Основы теории шкалирования в экономике. М.: Изд. Дом «НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА», 2021. 295 с.
- [7] *Прокопчина С.В.* Новый тип нейросетей: байесовские измерительные нейросети (БИН) на базе методологии регуляризирующего байесовского подхода // *Мягкие измерения и вычисления.* 2018. № 10.
- [8] *Прокопчина С.В.* Интеллектуальные сети ЖКХ на основе регуляризирующего байесовского подхода в задачах цифровой экономики // *Мягкие измерения и вычисления.* 2018. № 5.
- [9] *Прокопчина С.В.* Моделирование и управление процессами цифровизации региональной экономики. М.: Изд. Дом «НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА», 2021. 395 с.
- [10] *Котляр Э.А., Прокопчина С.В.* Интеллектуальный программный комплекс для мониторинга и управления горячим водоснабжением (ГВС) на основе регуляризирующего байесовского подхода // *Мягкие измерения и вычисления.* 2022. № 12.

References

- [1] *Zadeh L.* The concept of a linguistic variable and its application to making approximate decisions. М.: Mir, 1976. 163 p.

- [2] Dubois D., Prad A. Theory of possibilities. Appendix to the presentation of knowledge in computer science. M.: Radio and Communications, 1990. 288 p.
- [3] Prokopchina S.V. Bayesian intellectual measurements. M.: Ed. House «SCIENTIFIC LIBRARY», 2021. 495 p
- [4] Nilson N. Artificial intelligence. Methods of finding solutions. M.: Mir, 1973. 272 p.
- [5] Prokopchina S.V. The concept of Bayesian intellectualization of measurements in monitoring tasks of complex objects. *News of artificial intelligence*, 1997, no. 3, pp. 7–56.
- [6] Prokopchina S.V. Fundamentals of scaling theory in economics. M.: Ed. House «SCIENTIFIC LIBRARY», 2021. 295 p.
- [7] Prokopchina S.V. A new type of neural networks: Bayesian measuring neural networks (BIN) based on the methodology of the regularizing Bayesian approach. *Soft measurements and calculations*, 2018, no. 10.
- [8] Prokopchina S.V. Intelligent housing and communal services networks based on the regularizing Bayesian approach in the tasks of the digital economy. *Soft measurements and calculations*, 2018, no. 5.
- [9] Prokopchina S.V. Modeling and management of digitalization processes of the regional economy. M.: Ed. House «SCIENTIFIC LIBRARY», 2021. 395 p.
- [10] Kotlyar E.A., Prokopchina S.V. Intelligent software package for monitoring and management of hot water supply (DHW) based on the regularizing Bayesian approach. *Soft measurements and calculations*, 2022, no. 12.

Статья поступила в редакцию 09.05.2023; одобрена после рецензирования 16.05.2023; принята к публикации 23.05.2023.

The article was submitted 09.05.2023; approved after reviewing 16.05.2023; accepted for publication 23.05.2023.
